

업무용 빌딩 소재 사무실의 실내환기 평가

정지연^{1*} · 이광용² · 이병규²

¹용인대학교 산업환경보건학과 · ²한국산업안전공단 산업안전보건연구원

Assessment of indoor ventilation in commercial office buildings

Jeong, Jee Yeon^{1*} · Lee, Gwang Yong² · Lee, Byung Kyu²

¹Department of Occupational environment and Health, Yongin University,

²Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

In winter season, the survey was performed in three commercial office buildings in the metropolitan Seoul, Pusan, and Gwangju city. The purpose of the survey was to evaluate the effectiveness of ventilation for offices in commercial buildings. The data were compared to standard of applicable to the indoor ventilation in office. The results indicated that the most commercial office buildings used the air handling unit and fan coil unit as HVAC system, and the intake amount of fresh outdoor air were very inadequate compared to the ASHRAE

standard value of 0.57 m³/min/person. Also the surveyed all commercial office building used the HVAC system as a means of controlling temperature for office indoor air. Ultimately, these results presented that there were possibility of evoking indoor air quality problems by the insufficient ventilation.

Key Words : Office building, ventilation effectiveness, HVAC, Indoor air

I. 서론

실내공기 오염물질 농도는 실내공기 체적과 실내에서 발생 또는 방출되는 오염물질 양, 실내에서 발생된 오염물질이 반응 또는 침강 등을 통해 제거되는 정도, 실외공기와의 교환을 통해 희석되는 정도, 그리고 실외 공기 중에 포함되어 있는 오염물질의 농도에 의해 좌우된다(Maroni et al., 1995). 그러나 실내에 체류하는 사람들이 실내공기 오염물질에 어느 정도 노출되는지 정확히 정량하기란 쉽지 않다. 이는 각

개개인의 활동패턴, 그리고 행동특성에 강하게 영향을 받기 때문이다(Harrison, 1997).

빌딩증후군(SBS; sick building syndrome)은 빌딩관련질환(BRI; building related illness)과 구분되어 사용된다(Ryan and Morrow, 1992). 빌딩관련질환은 실내환경 내의 유해요인과 관련하여 의사의 임상적 진단에 의해 증상이 확인되고, 그리고 그 실내에 이러한 건강장해를 일으키는 원인이 존재하는 경우를 말하는 것인데 반해, 빌딩증후군은 건강장해 증후군을 일으키는 원인을 설명할 수 없는 경우에 사용되는 증상군

접수일 : 2007년 12월 26일, 채택일 : 2008년 4월 21일

* 교신저자 : 정지연 (경기도 용인시 처인구 삼가동 470 용인대학교 자연과학대산 산업환경보건학과,

Tel : 031-8020-3208, Fax : 031-8020-2886, E-mail : jjjung@yongin.ac.kr)

이다(Lahtinen et al., 1998).

빌딩중후군은 자연환기가 비교적 잘 이루어지는 오래된 건물에서도 발생되지만 오늘날 업무용 빌딩과 같이 에너지 효율을 높이기 위해 거의 밀폐된 형태를 가진 건물형태, 즉 실내공기조화시스템(HVAC; heating, ventilation, and air-conditioning system)을 갖춘 빌딩에서 보다 자주 발생하는 중후군이다(Redlich et al., 1997). 이는 실내공기질을 좌우하는 여러 요인 중 실내환기가 어떤 형태로든 빌딩중후군 발생에 영향을 미친다는 점을 나타낸다.

미국 냉난방공기조화전문가협회(ASHRAE; american society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers)는 실내에 적합한 환기기준을 제시하고 있는데(ASHRAE, 2001), 이러한 기준 제시의 설정근거는 사무실 공기 중에 건강에 나쁜 영향을 줄 수 있을 정도의 농도로 오염물질이 존재하지 않는다는 전제 하에서 ASHRAE가 제시하는 환기기준으로 실내환기를 유지한다면 실내에 있는 사람들의 80% 또는 그 이상은 실내공기질과 관련된 불만족을 일으키지 않을 것으로 믿는 기준이다.

본 연구에서는 국내 대형 업무용 빌딩 내에 존재하는 사무실을 대상으로 실내환기 상태와 적합성을 평가하여 그 결과를 제시하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 조사대상

서울, 광주 및 부산지역에 각각 위치한 대형 업무용 빌딩을 대상으로 실내공조기가 가장 활발히 운용되는 시기인 동절기(2월~4월)에 조사를 실시하였다.

2. 평가방법

사무실 공기의 오염물질을 희석하여 제거하는 실내환기는 사무실 공기질을 좌우하는 중요한 요인이다. 이번조사 경우 사무실환기 평가는 노동부의 관련 고시(2006-64호) 및 미국 ASHRAE의 기준을 사용하였다(노동부, 2007; ASHRAE, 2001).

실내 공조설비의 환기성능 적정성을 평가하기 위해서는 우선 두 가지 측면을 고려해야 하는데 사무실에 공급되는 공기 중에 함유된 외기량(OA: outdoor air)이 적정인지 여부와, 실내로 공급되는 공기(supply air)가 실내에서 얼마나 잘 혼합되어 적절히 배기되는지 여부이다.

따라서 사무실에 공급되는 공기 중의 외기함량을 평가하

여 조사대상 사무실 근로자 1인당 공급되는 외기함량의 적정성과, 조사대상 사무실의 시간당 공기교환횟수를 측정하여 평가하였다.

사무실 근로자 1인당 공급되는 실외공기량의 적정성 평가는 실외공기, 실내에서 배기 되는 공기(return air) 및 실내로 공기를 공급하기 위해 실외공기와 배기되는 공기가 혼합된 혼합공기(mixed air)에서 이산화탄소 농도를 측정하여 실내로 공급되는 공기 중의 외기공기함량을 구하였다(NIOSH, 1991). 동 평가 자료와 조사대상 사무실에 설치된 공조공기 급기구에서 풍량측정기(TSI Model 8373, USA)를 이용하여 측정된 급기량 측정결과와 대상 사무실의 근로자수를 바탕으로 근로자 1인당 실외공기 공급량을 구하여 ASHRAE 기준과 비교평가를 실시하였다. ASHRAE 경우 약 100 여개의 실내환경을 표준화하고 이렇게 표준화된 실내환경 각각에 대해 외기공급량을 제시하고 있는데, 사무실경우 1인당 외기공급량을 기준으로 $0.57 \text{ m}^3/\text{분}$ 을 제시하고 있으며, 또한 근로자 1인당 최소한의 사무실 면적은 14.3 m^2 을 제시하고 있다(ASHRAE, 2001). 현재 노동부의 관련고시(2006-64호)에서도 근로자 1인당 필요한 최소 외기공급량은 ASHRAE기준과 동일하다.

사무실의 시간당 공기교환 횟수는 추적가스인 SF_6 를 사용하여 농도감소법으로 측정하여(ASHRAE, 1997), ASHRAE 기준과 비교평가 하였으며(ASHRAE 2003), 구체적인 방법은 다음과 같다.

이번 조사에서 사용된 Multigas monitor(Annova; model 1312, Denmark)는 추적가스인 SF_6 를 최대 12개 지점에서 일정한 시간간격으로 모니터링 할 수 있는 장비로서, 본 연구에서는 평가대상 사무실에 추적가스를 살포하기 전에 미리 사무실을 등 간격으로 나눠 4개 지점에서 1분 간격으로 SF_6 농도를 모니터링 할 수 있도록 장비를 설치하였다.

평가대상 사무실의 근로자들이 퇴근하고 난 후 실내공조기를 정지시키고 나서 해당 사무실에 추적가스인 SF_6 (농도: 99%이상)를 살포 한 후 팬을 이용하여 전체 사무실 공간에 잘 혼합되도록 하였으며, 사무실 전체적으로 SF_6 가 잘 혼합되었는지 여부는 사무실 4개 지점에서 Multigas monitor로 측정된 SF_6 측정치를 보고 판단하였다.

일단 SF_6 가 잘 혼합되었다고 판단되는 시점에 해당 사무실의 실내공조기를 가동시키고 SF_6 농도를 1 분 간격으로 측정하면서 ASHRAE Standard 129-1997에 따라 초기농도의 98% 이하로 감소할 때 까지 연속 측정하여 평가하였다(ASHRAE, 1997).

실내환기 평가와 관련하여 상기 평가방법 이외에도 조사대상 사무실이 있는 빌딩의 실내공조 설비에 대한 TAB(testing, adjusting, and balancing) 자료가 있는 경우 평가대

상 사무실로 공급 및 배출되는 공기량을 풍량 측정기(TSI; Model 8373, USA)를 이용하여 측정하여 TAB 당시와 급·배기량의 변화가 발생했는지 여부 등을 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 조사대상 빌딩의 공기조화설비 설치현황

이번 조사대상 3개 빌딩의 공기조화설비 설치 및 사용현황을 살펴보면 A 빌딩의 경우 2002년에 준공된 지하 6층 지상 16층의 업무용빌딩으로 각 층별로 공조기(AHU; air handling unit)가 설치되어 사용 중에 있고, 일부 층은 보조수단으로 팬코일유닛(FCU; fan coil unit)을 사용하고 있었다. B 빌딩은

1995년에 준공된 지하 5층 및 지상 11층의 건축물로 대부분 층별로 설치된 AHU를 사용하고 있었으며, 9층과 10층의 일부만 AHU와 FCU를 겸용하여 사용하고 있었다. C빌딩의 경우 이번 조사대상 빌딩 중 가장 오래된 1979년에 준공된 지하 1층 지상 15층의 건축물로 겨울철의 경우 FCU방식을 사용하고 있었고, 여름철의 경우 AHU와 FCU를 겸용하는 방식으로 운용하고 있었다.

2. 사무실 환기실태 평가결과

조사대상 3개 빌딩 가운데 A 빌딩이 2002년 준공된 가장 최근빌딩으로 공조 설비에 대한 TAB(Testing, Adjusting, and Balancing) 자료가 있었다. 따라서 TAB 도면상에 나타난 급기구의 고유번호에 따라 풍량측정기를 이용하여 급기량을 측

Table 1. Ventilation system of the surveyed commercial office buildings

Building	Ventilation type	Comment
A, B	AHU, FCU	Most floors use AHU, a few floors use both AHU and FCU.
C	AHU, FCU	Winter season: use FCU. Summer season: use both AHU and FCU

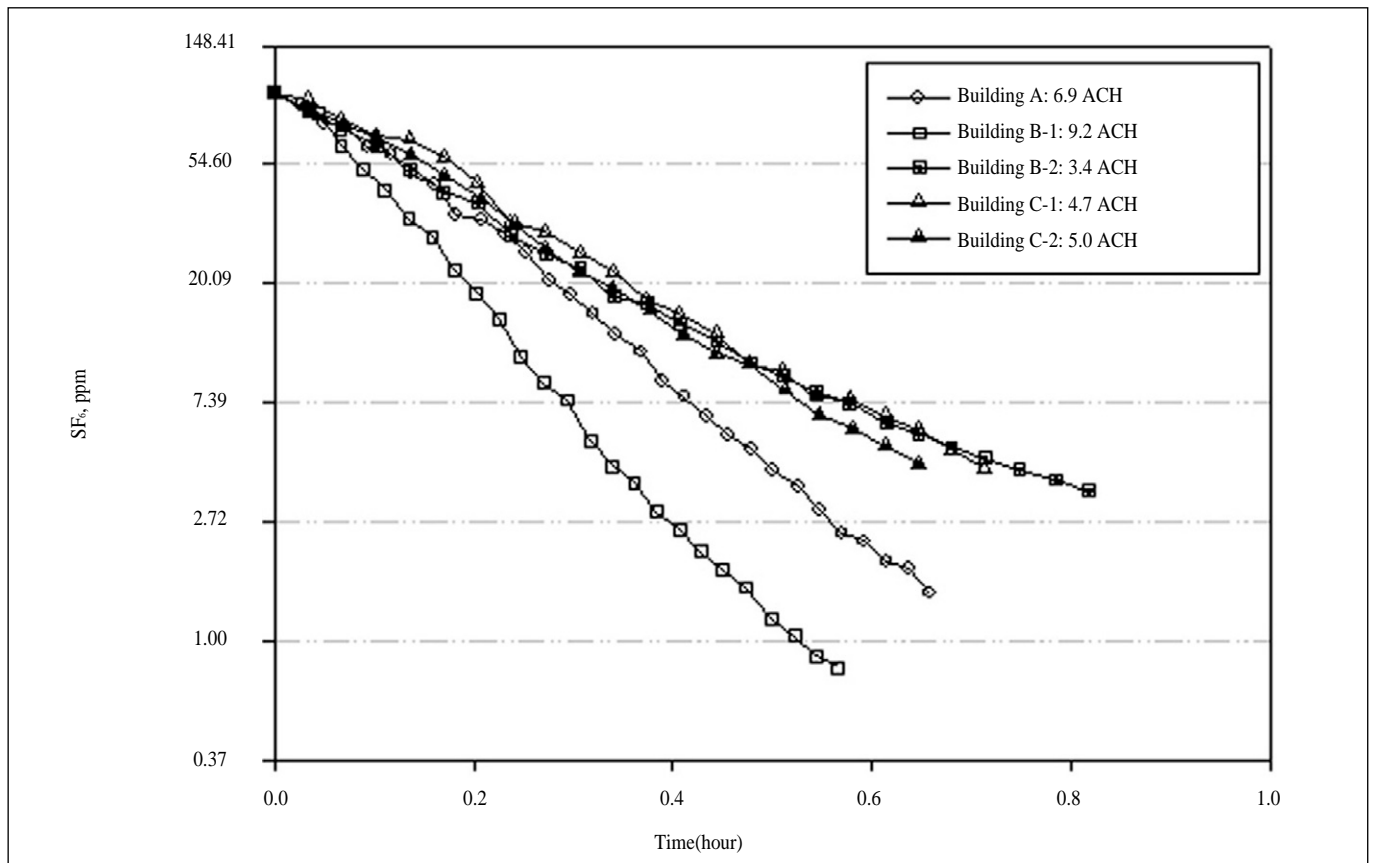


Figure 1. Concentration decay trend of tracer gas by the time

정하였으며, 설계치, 그리고 TAB 당시의 풍량 조정치와 비교 평가를 실시하였다. TAB 도면상에 나타난 21개의 급기구에 대한 평가결과, 설계당시 풍량은 모든 급기구가 각각 233 m³/시간이었으나 TAB 과정을 거치면서 평균풍량이 211 m³/시간(범위: 200 m³/시간 ~ 230 m³/시간)으로 조정되었음을 확인할 수 있었다. 그러나 이번 조사결과 이 풍량은 평균 175 m³/시간(범위: 138 m³/시간 ~ 235 m³/시간)으로 TAB 조정당시에 비해 평균적으로 약 17%가 감소되어 있었다. 일부 급기구 경우 TAB 당시에 비해 많은 풍량 감소를 보이기도 하였지만 전체적으로는 풍량변화가 그리 크지 않은 것으로 조사되었다. 그러나 나머지 B, C 빌딩의 경우 TAB 자료가 없어 TAB당시와 현 조건의 비교평가를 실시할 수가 없었다.

사무실 공조설비의 환기성능이 적절한지 여부를 평가하기 위해 사무실에서의 공기교환 횟수와 1인당 실외공기 공급량 함량을 평가하였다.

A 빌딩의 경우 1개 사무실을 C와 D 빌딩의 경우 각각 2개 사무실을 선정하여 추적가스(SF₆)를 이용한 농도감소법의

로 사무실 공기교환 횟수를 평가한 결과가 그림 1이다.

A 빌딩 내 조사대상 사무실의 시간당 공기교환횟수(ACH; air change per hour)는 6.9회, 'B-1' 사무실은 9.2회, 'B-2' 사무실은 3.4회, 그리고 'C-1' 사무실은 4.7회, 'C-2' 사무실은 5.0회로 평가되었다. 이번 조사결과를 보면 A와 C 빌딩, 그리고 B 빌딩의 'B-1' 사무실 경우 ASHRAE에서 권고하고 있는 공기교환 수준인 시간당 4~10회에 부합된 것으로 평가되었다(ASHRAE, 2003). 그러나 B 빌딩의 'B-2' 사무실은 시간당 3.4회로 권고기준에 미달하는 것으로 평가되었다.

표 2는 A 빌딩에 대한 실외공기 함량의 적정성 평가결과이다. A 빌딩 경우 계절별로 OA 댐퍼 개폐량의 조절범위를 다르게 설정하여 관리하고 있는 것으로 조사되었다. 봄·여름과 같은 환절기 경우 50~100%, 그리고 여름·겨울철의 경우 15~30% 선에서 조절하고 있었다. 따라서 조사당일 조사대상 사무실에서 실제로 근무하는 실 근무인원수(A 기준)와, 출장 등으로 인해 사무실을 비운사람이 있었기 때문에 사무실내의 전체 책상 수를 기준으로 한 인원수(B 기준)를 잡아

Table 2. Results of supplied outdoor air content per one person in commercial 'A' office building.

Item			Result
Number of employees	By actual working persons(A)		40
	By number of office desk(B)		91
Office area(m²)			369
Supply air(m³/min)			61.1
Outdoor air(m³/min) according to damper open percentage	30% open		18.3
	40% open		24.4
	50% open		30.5
	70% open		42.8
	100% open		61.1
Outdoor air content per person (m³/min/person)	By 'A'	30% open	0.40
		40% open	0.61
		50% open	0.76
		70% open	1.07
		100% open	1.53
	By 'B'	30% open	0.20
		40% open	0.27
		50% open	0.34
		70% open	0.47
		100% open	0.67

두 가지 조건에서 평가하였다. 또한 계절별로 OA 댐퍼량이 달리 적용되므로 댐퍼의 개폐조건을 30%, 40%, 50%, 70%, 그리고 100% 개방조건에서 평가하였다. 평가결과 평가대상 사무실의 사무공간으로 활용할 수 있는 유효바닥면적은 369 m²로 A 기준의 40명과 B 기준의 91명으로 1인당 점유 바닥면적을 계산해 보면 각각 9.2 m²와 4.1 m²로 나타나 두 가지 기준 조건 모두에서 ASHRAE 권고기준(근로자 1인당 최소한의 사무면적: 14.3 m²)보다 협소함을 확인할 수 있었다(ASHRAE, 2001).

실외공기 함량 경우 A 기준으로 평가시 OA 댐퍼를 최소한 40% 이상, 그리고 B 기준으로 평가시는 최소한 80%이상 열어야 ASHRAE 기준(0.57 m³/분/인)에 부합되는 것으로 평가되었다..

동 빌딩 경우 TAB자료에 따르면 설계당시에는 여름·겨울철의 최소 외기량을 40% 공급하는 조건에서 설계되어 있었으나 실 가동 조건은 15~30% 조건에서 가동하는 것으로 나타나 여름 또는 겨울철 경우 사무직 근로자의 실외공기 공급량이 부족할 것으로 판단되었다.

B 빌딩에 대한 실외공기 함량 적정성 평가 결과는 표 3과 같다.

B 빌딩 경우 공조기 가동 시 계절별 OA 댐퍼 개폐량을 확인한 결과 겨울철은 30~40%, 그리고 봄·여름·가을철은 외기조건에 따라 0~100%까지 조절하고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 이번 조사결과 OA 댐퍼를 최소한 30% 정도는 개방하여 운용해야 실내환기가 불량해지는 것으로 막을 수 있을 것으로 평가되었다. 특히, 'B-2' 사무실 경우 'B-1' 사무실

에 비해 실내로 공급되는 공기(10.8 m³/분)와 배기되는 공기량(0.8 m³/분) 간의 불균형이 심했고 동 사무실의 경우 실내공기교환 횟수에서도 'B-1' 사무실에서 평가된 시간당 9.2회에 훨씬 못 미친 3.4회 이었다.

C 빌딩 사무실에 대한 실외공기함량 평가결과 'C-1' 사무실의 경우 최소외기함량을 최소 35% 이상, 그리고 'C-2' 사무실의 경우는 45% 이상 공급해야만 ASHRAE 권고기준에 적합할 것으로 판단되었다(표 4).

그러나 C빌딩 경우 앞서 공조설비 운용실태에서 언급한 것처럼 겨울철 경우 주로 FCU 만을 이용하여 실내난방을 하기 때문에 기계적인 환기에 의한 외기 공급은 없었다. 동 조사는 조사당시 가동하고 있지 않은 AHU를 가동시켜 평가한 결과이다. 동 빌딩 경우 AHU를 난방용으로 잘 가동하지 않기 때문에 실제 AHU를 가동시켜 'C-1'과 'C-2' 사무실의 천장에 설치된 공기 급기구와 환송용 배기구에서 측정한 풍량 측정 결과(그림 2) 풍량의 불균형이 매우 심했으며 AHU에 대한 관리도 제대로 이루어지지 않고 있었다.

공조기가 설치되어 있으나 주로 팬코일유닛만을 사용하여 난방하는 경우 실내환기는 주로 창문 등을 통한 자연환기에만 의존하게 된다. 따라서 이러한 곳은 실내환기가 극히 불량해 질수 있으며, 이는 실내공기 오염물질의 축적을 야기하게 된다. 실내의 이산화탄소 농도가 800 ppm을 초과하면 환기가 불충분한 사무실일 가능성이 높고, 1,000 ppm을 초과하면 확실히 환기가 불충분한 사무실이라고 한다(NIOSH, 1997; OSHA, 2007; Rajhans, 1983). 정지연등(2007)이 조사한 결과에 따르면 팬코일유닛만으로 난방을 실시하고 있는 사

Table 3. Results of supplied outdoor air content per one person in commercial 'B' office building.

Location	Number of employees	Office area (m ²)	Total SA and RA rate(m ³ /min)		Outdoor air supply per person(m ³ /min)			
			SA	RA	30% [†]	50%	70%	100%
Office B-1	21	103.5	28.3	31.2	0.40	0.67	0.94	1.34
Office B-2	5	25.6	10.8	0.8	0.65	1.08	1.52	2.16

[†]: the percentage of damper open, SA: supply air, RA: return air.

Table 4. Results of supplied outdoor air content per one person in commercial 'C' office building.

Location	Number of employees	Office area (m ²)	Total SA and RA rate(m ³ /min)		Outdoor air supply per person(m ³ /min)			
			SA	RA	25%	30%	35%	40%
Office C-1	22	266.9	35.4	30.1	0.40	0.48	0.56	0.64
Office C-2	24	280.3	28.3	31.2	0.31	0.38	0.44	0.50

무실에 대한 이산화탄소농도 측정결과 1,000 ppm을 초과한 사무실이 많았다는 사실을 제시하고 있다.

우리나라 실내환경에 대한 환기기준은 노동부 및 환경부 등에서 제시하고 있다. 관련 내용을 살펴보면, 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서는 다중이용시설에 대한 환기설비기준을 동법 시행규칙 제6조 ‘환기설비의 설치기준’에서 건설교통부의 건축물의 설비기준등에 관한 규칙 제11조 제4항의 기준에 따르도록 하고 있다(환경부, 2007). 동 규칙에서 신축공동주택과, 지하시설, 문화 및 집회시설, 판매 및 영업시설, 의료시설, 교육연구 및 복지시설, 자동차 관련시설, 그리고 찜질방과 산후조리원에 대한 필요환기량 기준을 구체적으로 제시하고 있으며(건설교통부, 2006), 근로자를 대상으로 한 사무실 내의 환기량 기준은 노동부의 사무실공기관리지침이란 고시에서 규정하고 있다(노동부, 2007). 이번 조사결과 사무실 환기를 위한 외기공급량이 동 고시에서 제시하고 있는 최소외기 함량에 못 미치는 사무실이 있었으며, 이러한 사무실은 실내공기 오염물질의 축적을 야기하여 실내공기질 저하를 유발할 수 있고, 이는 사무실 근로자의 실

내공기질과 관련된 증상을 유발 할 수 있는 한 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론

우리나라 전국 주요 도시(서울, 광주 및 부산)에 소재하고 있는 3개의 업무용 빌딩 내 사무실을 대상으로 동절기에 사무실 환기상태에 대한 주요 평가결과는 다음과 같다.

1. 조사대상 3개 빌딩 모두 실내공조를 위해 주요 수단으로 공조기를 사용하고 있었으며, 보조수단으로 팬코일유닛을 사용하고 있는 것으로 조사되었다.

2. 가장 최근에 준공된 빌딩(빌딩 A)의 경우 사무실내의 실내공조를 위한 급기량은 균형이 비교적 양호하였으며, 사무실 공기교환 횟수도 시간당 9.2회로 ASHRAE의 권고기준(4~10회/시간)에 부합되는 수준이었다. 그러나 신선외기 공급량의 적정성, 즉 근로자 1인당 실외공기공급 함량의 적정

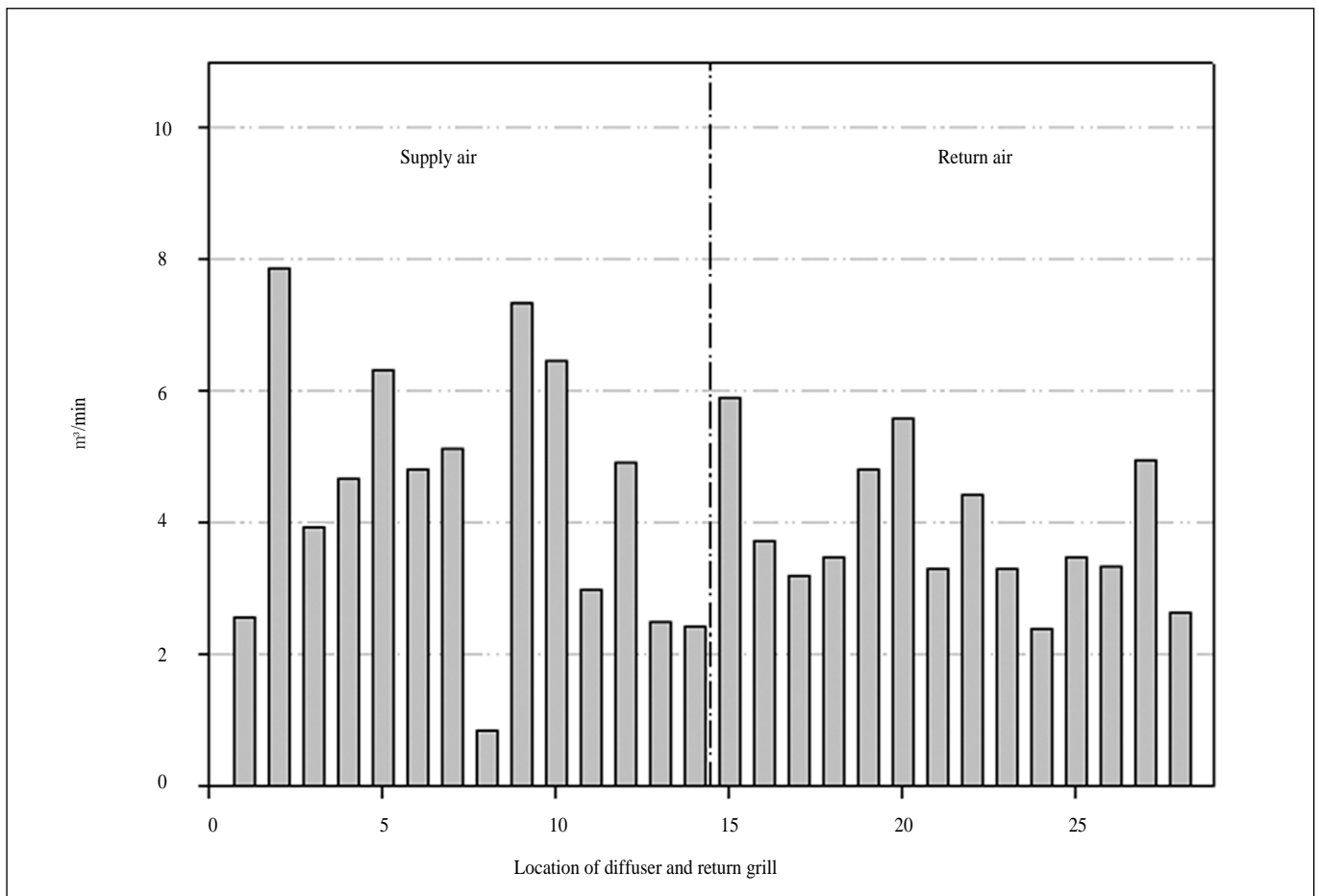


Figure 2. Distribution of flow rates at supply air diffusers and return air grills.

성 평가에서는 노동부 및 ASHRAE 기준($0.57\text{m}^3/\text{분}/1\text{인}$)을 충족할 수 없는 것으로 평가되었다.

3. B 빌딩 경우 사무실간 실내공기 공급 및 배기에 있어서 불균형이 심했고, 사무실에 따라 외기공급을 위한 댐퍼 개방도 최소한 30% 정도는 개방되어야 실내환기가 불량해지는 것으로 막을 수 있는 것으로 평가되었다.

4. 이번 조사결과 사무실 환기를 위한 외기공급량이 노동부 관련고시 및 관련전문기관(ASHRAE)에서 제시하고 있는 최소외기 함량에 못 미치는 사무실이 있었다. 이는 실내공기 오염물질의 축적을 야기하여 실내공기질 저하를 유발할 수 있고, 따라서 사무실 근로자의 실내공기질과 관련된 증상을 유발할 수 있는 한 원인이 될 수 있을 것으로 판단되었다.

REFERENCES

- 건설교통부. 건축물의 설비기준등에 관한 규칙. 건설교통부, 2006.
- 노동부. 사무실 공기관리 지침(노동부 고시 제2006-64호). 노동부, 2007.
- 환경부. 다중이용시설등의 실내공기질관리법. 환경부, 2007.
- 정지연, 이병규, 피영규. 업무용 빌딩내 사무실의 실내공기 질 평가. 한국산업위생학회지 2007;17(1):31-42
- American society of heating, refrigerating and Air-conditioning Engineers(ASHRA). ASHRAE 129-1997, measuring air-change effectiveness. Atlanta: ASHRAE; 1997.
- American society of heating, refrigerating and Air-conditioning Engineers(ASHRA). ASHRAE 62-2001, ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta: ASHRAE; 2001.
- American society of heating, refrigerating and Air-conditioning Engineers(ASHRA). ASHRAE handbook-HVAC application. Atlanta: ASHRAE; 2003.
- Harrison PTC. Health impact of indoor air pollution. Chemistry and industry 17; 1997. p.671-87
- Lahtinen M, Huuhtanen P, Reijula K. Sick building syndrome and psychological factors-a literature review. Indoor air(suppl 4), 1998;71-80
- Maroni M, Seifert B, Lindvall T. Indoor air quality - a comprehensive reference book. Amsterdam: Elsevier; 1997.
- National institute for occupational safety and health(NIOSH). Building air quality. Washington DC: US Governmental printing office; 1991.
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Technical manual. Available from http://www.osha.gov/dts/osta/otm_iii/otm_iii_2.html, 2007.
- Redlich CA, Sparer J, Cullen MR. Sick-building syndrome. Lancet

1997;349(9057):1013-1016

Rajhans GS. Indoor air quality and carbon dioxide level. Occup Health in Ontario 4:160-167

Ryan CM, Morrow LA. Dysfunctional buildings of dysfunctional people: an examination of the sick building syndrome and allied disorders. Journal of consulting and clinical psychology 1992;60(2):20-27